

Лабораторна робота № 3

РОЗРАХУНОК І ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРІВ РІЗНИХ ТИПІВ. ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАЛОЇ

Обладнання

1. Пікофарадометр;
2. Конденсатор змінної ємності;
3. Конденсатор вимірювальний;
4. Плоский конденсатор з двобічнофольгованої пластмаси;
5. Плоский конденсатор з п'єзокераміки.

Теоретичні відомості

1. Конденсатори

У різних електротехнічних і радіотехнічних пристроях часто необхідно мати значні електричні ємності. Відокремлені провідники мають малу електроємність. Планета Земля як відокремлений провідник має ємність в межах 700 мкФ. Систему провідників, призначену для створення значних ємностей, називають конденсатором. Провідники, що створюють конденсатор, – обкладки конденсатора. Залежно від форми обкладок дається назва конденсатору. Якщо обкладки являють собою дві паралельні пластини, то конденсатор називають плоским, якщо обкладки – два коаксіальні циліндри, то циліндричними, якщо обкладки – дві концентричні сфери, то сферичними.

Електрична ємність конденсатора визначається співвідношенням

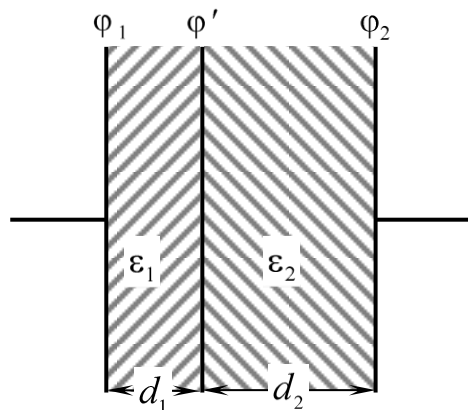
$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}, \quad (3.1)$$

де q – заряд конденсатора; $\varphi_1 - \varphi_2$ – різниця потенціалів обкладинок.

Електричну ємність конденсатора, як і ємність відокремленого тіла, вимірюють у фарадах. Фарад – електроємність такого конденсатора, в якому при напрузі в 1В на його обкладинках накопичується електричний заряд в 1Кл. Фарад дуже велика одиниця електроємності, а тому на практиці користуються частковими одиницями: 1 мкФ = 10^{-6} Ф; 1 пФ = 10^{-12} Ф = 10^{-6} мкФ.

2. Плоский конденсатор

Нехай є дві паралельні провідні(металеві) пластини площею S , розміщені на відстані d одна від одної. Нехай між обкладинками знаходиться два діелектрики з діелектричними проникностями ϵ_1 і ϵ_2 і товщиною d_1 і d_2 так, що $d_1 + d_2 = d$ (мал.3.1).



Мал. 3.1 Плоский конденсатор

Нехай потенціал лівої обкладки – φ_1 , а правої – φ_2 . На межі діелектриків потенціал набуває значення φ' . Електричне зміщення в обох діелектриках однакове, а тому $D = \varepsilon_0 \varepsilon E_1 = \varepsilon_0 \varepsilon E_2$, де E_1 – напруженість електричного поля в першому діелектрику, E_2 – у другому.

Для першого діелектрика $\varphi_1 - \varphi' = E_1 d_1$, а для другого $\varphi' - \varphi_2 = E_2 d_2$. Додаючи, одержимо $\varphi_1 - \varphi_2 = E_1 d_1 + E_2 d_2$. Електрична ємність розглядуваного конденсатора виражатиметься співвідношенням

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\sigma S}{E_1 d_1 + E_2 d_2},$$

де σ – густина зарядів на обкладках конденсатора. Густина зарядів дорівнює електричному зміщенню, а тому $\sigma = D = \frac{q}{S}$, звідки $q = \sigma S$, $E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_1}$, $E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_2}$. Враховуючи це, маємо

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}}. \quad (3.2)$$

Якщо простір між обкладками заповнено лише одним діелектриком, а так найчастіше і буває, то $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ і $d_1 + d_2 = d$. Отже,

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}. \quad (3.3)$$

Це і є формула електроємності плоского конденсатора з одним діелектриком. Якщо пластини мають неоднакову площу, то до розрахунку береться менша.

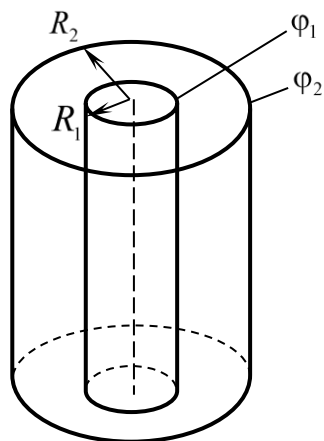
3. Циліндричний конденсатор

Циліндричний конденсатор складається з двох коаксіальних циліндрів, у просторі між якими знаходяться діелектрик (мал. 3.2). Електрична ємність циліндричного конденсатора, як і плоского, визначається за співвідношенням (3.1), де $\varphi_1 - \varphi_2$ – різниця потенціалів між циліндрами.

Якщо циліндр можна вважати нескінченно довгим, то $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{7}{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon} \ln \frac{R_2}{R_1}$, де R_1 – радіус внутрішнього циліндра, R_2 – зовнішнього.

Отже, ємність циліндричного конденсатора визначається за співвідношенням

$$C = \frac{2\pi \varepsilon_0 \varepsilon l}{\ln R_2 / R_1}. \quad (3.4)$$



Мал. 3.2 Циліндричний конденсатор

Якщо відстань між циліндрами невелика, то $\ln \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_2 - R_1}{R_1}$, $R_2 - R_1 = d$ виражає товщину діелектрика, $2\pi Rl = S$ – площу обкладок.

У цьому падку випадку ємність циліндричного конденсатора визначається за формулою (3.3) ємності плоского конденсатора.

Першим із конденсаторів був винайдений циліндричний у 1745–1746 рр. Е. Клейстом (в Помпеї) і П. Мушенбруком (з м. Лейдені в Голандії). Тому й тепер навчальні високовольтні циліндричні конденсатори називають Лейденськими банками. Їх застосовують як накопичувальні конденсатори в електрофорній машині. З Лейденською банкою слід поводитися дуже обережно, оскільки розрядний струм може бути смертельним!

4. Сферичний конденсатор

Сферичний конденсатор складається з двох концентричних кульових обкладок, розділених сферичним шаром діелектрика (мал. 3.3).

Якщо внутрішній обкладці такого конденсатора передати заряд q , то на зовнішній обкладці утвориться індуктивний заряд $-q$. Електричне поле сферичного конденсатора зосереджене між його обкладинками і таке, що наче заряд зосереджений в центрі сфери. Тому потенціали обкладок відповідно $\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1}$ і $\varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon R_2}$, де R_1 – радіус внутрішньої сфери;

R_2 – зовнішньої.

Електрична ємність сферичного конденсатора

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}. \quad (3.5)$$

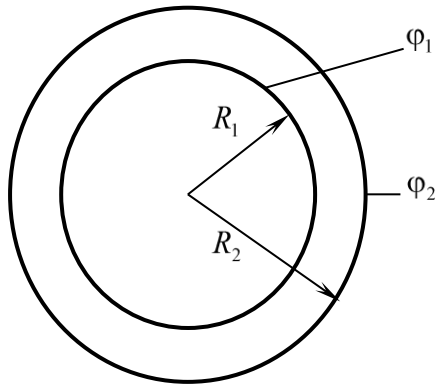
Якщо товщина діелектрика мала, то поклавши $R_2 - R_1 = d$, $4\pi R_1 R_2 \approx 4\pi R_1^2 = S$, маємо $C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}$.

У цьому випадку ємність сферичного конденсатора розраховується за формулою плоского. Якщо $R_2 \gg R_1$, то ємність дорівнюватиме $4\pi\epsilon_0\epsilon R_1$, тобто дорівнюватиме ємності відокремленої сфери радіуса R_1 .

Виконання вимірювань

Завдання I: Обчислити та виміряти ємність конденсаторів змінної ємності.

У радіотехніці широко використовують конденсатори змінної ємності. Зміну ємності найчастіше здійснюють шляхом зміни площі перекриття пластини.



Мал. 3.3 Сферичний конденсатор

1. Ознайомитися з будовою і дією шкільного конденсатора змінної ємності. Виміряти площу пластини, середню відстань між пластинами, кількість рухомих і нерухомих пластин. На основі цих вимірювань обчислити максимальну ємність. Див. додаток № 1.
2. Виміряти максимальну та мінімальну ємності пікофарадометром.
3. Спостерігати зміну ємності конденсатора на пікофарадометрі при обертанні ротора.
4. Результати обчислень і вимірювань занести до таблиці № 3.1 Зробити висновки.

Таблиця № 3.1

Обчислена ємність					Виміряна макси- мальна ємність $C_{\text{в}}, \text{Ф}$	Розходження значень $\Delta = \frac{C_{\text{м}} - C_{\text{в}}}{C_{\text{м}}} \cdot 100\%$
Площа пластини $S, \text{м}^2$	Середня відстань між пластинами $d, \text{м}$	Кількість нерухомих пластин N_1	Кількість рухомих пластин N_2	Макси- мальна ємність $C_{\text{м}}, \text{Ф}$		

Завдання II: Визначити діелектричну проникність скла.

Діелектричну проникність скла можна визначити, якщо виміряти ємності плоского конденсатора без діелектрика C_0 і з діелектриком C . Тоді, якщо простір між обкладинками повністю заповнений досліджуванним діелектриком, то діелектрична проникність буде:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}. \quad (3.6)$$

Якщо товщина діелектрика менша від відстані між пластинами конденсатора, то діелектрична проникність

$$\varepsilon = \frac{Cd_1}{C_0d - C(d - d_1)} \quad (3.7)$$

(формулу вивести самостійно), де d_1 – товщина діелектрика; d – відстань між пластинами. У випадку, коли $d_1 = d$, то (3.7) перетворюється в (3.6), тобто $\varepsilon = \frac{C}{C_0}$.

1. Виміряти відстань між пластинами конденсатора і товщину діелектрика.
2. Приєднати конденсатор до пікофарадометра і виміряти ємність.
3. Ввести діелектрик (листоє скло) у простір між пластинами і виміряти ємність.
4. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці № 3.2. Зробити висновки.

Таблиця № 3.2

Відстань між пластинами конденсатора d , м	Товщина діелектрика d_1 , м	Ємність конденсатора без діелектрика C_0 , пкФ	Ємність конденсатора при наявності діелектрика C , пкФ	Діелектрична проникність ϵ

Завдання III: Визначити діелектричну проникність двобічнофольгованої пластмаси і п'єзокераміки.

Друковані плати радіосхем виготовляють з вкритих фольгою діелектричних пластин. Якщо така пластина двобічнофольгована, то вона є плоским конденсатором.

- Щоб визначити діелектричну проникність, треба обчислити ємність такого конденсатора без урахування діелектрика C_0 .
- Виміряти реальну ємність C пікофарадомером.
- Визначити діелектричну проникність за формулою $\epsilon = \frac{C}{C_0} = \frac{Cd}{\epsilon_0 S}$.
- У такий самий спосіб вимірюють діелектричну проникність п'єзокераміки. Повторити пункти 1-3.
- Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці № 3.3. Зробити висновки.

Таблиця № 3.3

Діелектрик	Площа обкладок S , м ²	Товщина діелектрика d , м	Розрахована ємність без діелектрика C_0 , Ф	Виміряна ємність з діелектриком C , Ф	Діелектрична проникність ϵ
Пластмаса					
П'єзокераміка					

Контрольні питання

- Яка фізична величина називається електричною ємністю?
- Фізичний зміст електроємності. В яких одиницях вимірюється?
- Чому рівна електрична ємність відокремленого провідника?
- Дати означення конденсатору. В яких одиницях вимірюється електроємність конденсаторів?
- Встановити формули для розрахунку електричної ємності плоского, циліндричного і сферичного конденсаторів.

6. Що називається діелектричною проникністю? Як її визначити?

Рекомендована література

1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики у 3 т.: Навч. посіб. – К.: Техніка, 2001 – Т.2. Електрика і магнетизм. – С. 60-64.
2. Цілінко М. Г. Саморобні електронні прилади в лабораторному практикумі з електрики і магнетизму: Навч. посіб. – К.: ІСДО, 1995. – С. 27-39.

РОЗРАХУНОК МАКСИМАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРА ЗМІННОЇ ЄМНОСТІ

Максимальна ємність плоского конденсатора змінної ємності виражається формулою

$$C_{\text{м}} = \frac{\varepsilon_0 S}{d} N_{\text{к}},$$

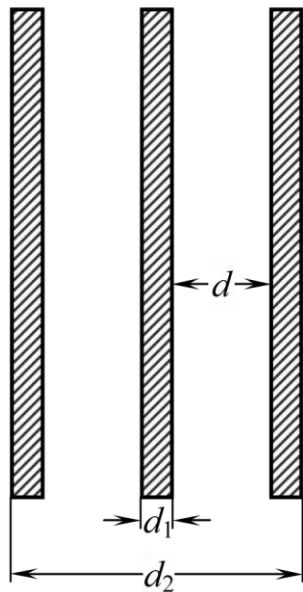
де S – площа нерухомої пластини, d – відстань між рухомими і нерухомими пластинами, $N_{\text{к}}$ – кількість конденсаторів, $N_{\text{к}}=N-1$, де N – загальна кількість пластин.

Визначити середню відстань між пластинами. Виміряти зовнішню відстань між пластинами, нехай вона d_1 , виміряти товщину пластини, нехай вона d_2 (мал. 3.4). Відстань між пластинами буде

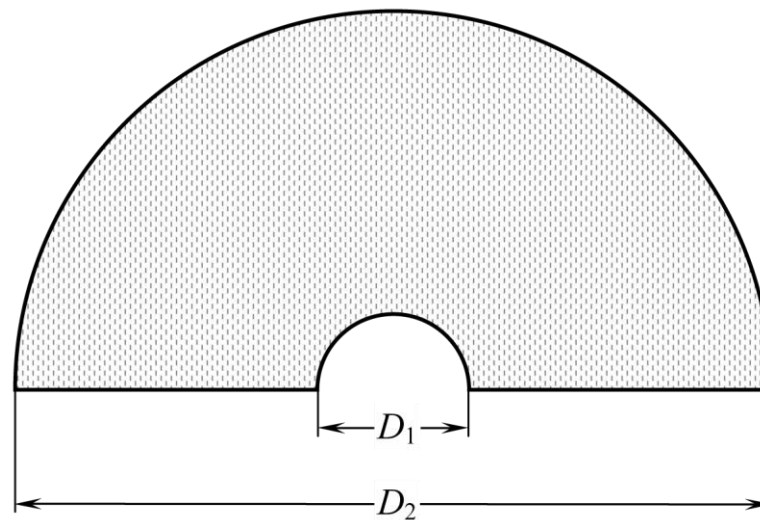
$$d = \frac{d_2 - 3d_1}{2}.$$

Нерухомі пластини являють собою півкруг з вирізом у формі малого півкруга. Виміряти діаметри великого і малого півкругів. Нехай вони D_1 та D_2 (мал. 3.5). Тоді площа пластини визначається за формулою

$$S = \frac{1}{8}\pi D_2^2 - \frac{1}{8}\pi D_1^2 = \frac{\pi}{8} (D_2^2 - D_1^2).$$



Мал. 3.4



Мал. 3.5

Висновки
